

## Mapeamento da probabilidade de resposta à adubação para videira irrigada – micronutrientes

*Alessandra Monteiro Salviano Mendes<sup>1</sup>, Luís Henrique Basso<sup>2</sup> e Davi José Silva<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, DS em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Semiárido, BR 428, km 152, Caixa Postal 23, Petrolina-PE, CEP 56302-970, amendes@cpatsa.embrapa.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, DR em Ciências, Embrapa Semiárido, lhbassoi@cpatsa.embrapa.br

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, DS em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Semiárido, davi@cpatsa.embrapa.br

**Resumo** - A resposta de culturas agrícolas à adubação é de interesse tanto dos responsáveis pela recomendação pela adubação como pelo produtor agrícola. Assim, este trabalho teve como objetivo mapear a probabilidade de resposta da videira irrigada à adubação para micronutrientes, em área de produção comercial de uva de mesa em Petrolina - PE, utilizando o procedimento de krigagem indicatriz. As amostras de tecido foliar, coletadas na época de pleno florescimento da cultura, foram coletadas nos pontos de cruzamento de uma malha com intervalos regulares em uma área de amostragem, composta por 11 linhas, cada uma com 14 plantas, perfazendo um total de 154 amostras. Toda a área estudada apresentou teores foliares excessivos de Cu, não sendo possível o uso da krigagem indicatriz e a confecção do mapa probabilístico para este micronutriente. Todavia, para os demais micronutrientes, o método da krigagem indicatriz pode ser utilizado como ferramenta para mapear a probabilidade de resposta à adubação na cultura da videira. Verificou-se que no pomar estudado, em termos de área, os micronutrientes que obtiveram maior probabilidade de apresentaram-se em excesso e, portanto, menor probabilidade de responder à adubação foram: Cu < Zn, Mn, Fe e B.

**Palavras-chave:** agricultura de precisão; krigagem; uva.

## Mapping the probability response to irrigated fertilization grapevine – micronutrients

**Abstract** – The crop response to fertilizing practices is interest to the technician in charge of fertilizer dose recommendation and to the producer. Hence, the objective of this study was mapping the response probability of irrigated grapevine to the micronutrient application in a commercial vineyard of table grapes in Petrolina, Pernambuco State, Brazil, using the indicator kriging. Samples of grapevine leaf were collected in a rectangular grid composed by 11 plant rows, each one with 14 plants, with regular spacing. The collect of leaf tissue was done in the blooming and the number of sample was 154. The area analyzed presented excessive Cu levels, which do not allow the use of indicator kriging and the construction of its probability map. However, indicator kriging was a useful tool to construction of the probability map of grapevine response to the other micronutrients. It was observed in the orchard that the micronutrients with higher probability to present excessive level, and consequently with lower probability to respond to fertilization application, were Cu < Zn, Mn, Fe and B.

**Keywords:** precision agriculture; kriging; grape.

### Introdução

A região do Submédio São Francisco vem se destacando no cenário nacional como a maior produtora e exportadora de uvas finas de mesa do Brasil. Concomitantemente, para que a demanda seja atendida, a utilização de práticas de manejo mais tecnificadas fazem-se necessárias. Devido à falta de assistência técnica adequada ou pelo uso da filosofia de prevenção na aplicação de fertilizantes, principalmente de micronutrientes, a maioria dos produtores usa fertilizantes além das necessidades das plantas, o que acarreta prejuízos econômicos, mas também ocasiona sérios problemas ambientais (contaminação do solo) e também produtivos, pois o excesso de fertilizantes leva ao desequilíbrio do solo e da planta.

Além disso, a contaminação dos solos de vinhedos por metais pesados, e especialmente por Cu, é extremamente preocupante (MIHALJEVIC et al., 2006), devido as maciças aplicações de defensivos agrícolas na busca do controle das doenças da videira, tais como o míldio, causada por *Plasmopora viticola*. Estudos promovidos para averiguação do grau de contaminação por metais pesados dos solos de vinhedos do Vale São Francisco realizados por Costa (2009) verificaram que os teores de Cu e Zn, na maioria das áreas cultivadas, apresentaram aumento com os anos de cultivo, sendo o fato atribuído à influência antrópica.

Segundo Melo (2006) o viticultor precisa se munir de informações para que as tomadas de decisões sobre seu vinhedo sejam baseadas em critérios técnicos para que os ganhos econômicos sejam maximizados e as perdas ambientais minimizadas. Nesse caso, estudos de variabilidade espacial associados ao uso de informações simples como a análise foliar podem se transformar em ferramentas importantes de gestão da nutrição das plantas.

A geoestatística é uma ferramenta muito utilizada na análise de dados espacial e temporalmente correlacionados, podendo auxiliar na identificação de padrões espaciais de distribuição de nutrientes. Além disso, existem ferramentas da geoestatística que permitem estimar a probabilidade de ocorrência de um dado evento a partir de uma informação obtida.

O método da krigagem indicativa é baseado em uma transformação binária dos dados, sendo cada dado transformado em um indicador antes de ser submetido às análises geoestatísticas e à krigagem. Por convenção, os dados são codificados em 0 ou 1, se estiverem acima ou abaixo de determinado valor de corte, respectivamente. O valor de corte é arbitrário e depende do objetivo do estudo. O resultado da transformação é um novo conjunto de dados, composto de 0 e 1, o qual é então submetido às análises geoestatísticas, obtendo-se, assim, o semivariograma indicador, que reflete o modelo de continuidade espacial para o valor de corte pré-estabelecido (MOTOMIYA et al., 2006). Para Verhagen e Bouma (1997), a krigagem indicativa tem sido usada com sucesso porque permite expressar o modelo espacial em termos de probabilidade de excesso. Em vez de apresentar os resultados de interpolações em termos de classes de valores fixos, pode-se apresentá-los em termos de probabilidade de que determinado valor seja excedido. Um desses usos é a confecção de mapas de probabilidade de resposta à adubação permitindo a otimização da fertilização em áreas de fruticultura. Este trabalho teve por objetivo mapear a probabilidade de resposta à adubação para micronutrientes em área comercial de produção de uva de mesa, em Petrolina - PE, utilizando o procedimento de krigagem indicativa a partir da variabilidade dos teores foliares de micronutrientes nas plantas.

## Material e Métodos

A coleta de amostras de tecido foliar foi realizada na Fazenda Alpha Vale, em Petrolina-PE, em julho de 2006, em parreiral de videira cv. Festival (apirência), sobre porta-enxerto SO4, plantado em 2002, no espaçamento de 3,5 x 4 m, e irrigado por microaspersão.

Em um grid regular de 35 x 52 m, composto por 11 fileiras e 14 plantas em cada fileira, cada planta era considerada como um ponto amostral, perfazendo 154 amostras. Na época de pleno florescimento da cultura, em cada planta foram retiradas 12 folhas inteiras (limbo + pecíolo), sendo 4 folhas em cada um dos quadrantes da cobertura foliar para compor a amostra. Após a coleta as mesmas foram levadas ao laboratório, lavadas e colocadas em estufa de circulação forçada para secagem a 65 °C. Em seguida, foram moídas em moinho tipo Willey e mineralizadas por digestão nítrico-perclórica e nos extratos determinaram-se os teores de Cu, Zn, Fe e Mn por espectrofotometria de absorção atômica e os de B por colorimetria (EMBRAPA, 1999).

A variabilidade dos dados foi inicialmente avaliada por meio de estatística descritiva; as variáveis foram classificadas, de acordo com os valores de CV, segundo Warrick e Nielsen (1980), como de baixa ( $CV < 12\%$ ), média ( $12 < CV < 62\%$ ) e alta ( $CV > 62\%$ ) variabilidade e a hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS). O coeficiente de assimetria mostra o grau de dispersão da variável em relação a um valor central. O coeficiente de curtose mostra a dispersão (achatamento) da distribuição em relação à média. A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística e do ajuste de semivariogramas, sendo testados os modelos esférico, exponencial e gaussiano. Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o melhor coeficiente de determinação e a menor soma de quadrados do resíduo. A razão entre a variância estruturada e o patamar [ $C/(C_0 + C_1)$ ], expressa em porcentagem, permitiu a classificação do grau de dependência espacial (CAMBARDELLA et al., 1994). Os mapas probabilísticos confeccionados de acordo com metodologia descrita em Landim e Sturaro (2002). Para análise dos resultados foi utilizado o método da krigagem indicativa, ou seja, escolheram-se níveis de corte para delimitar os padrões de distribuição espacial. Como

níveis de corte foram utilizados os teores considerados excessivos para a cultura em Melo (2003) e Malavolta et al (1997). O software utilizado para a confecção dos mapas de isolinhas foi o GS<sup>+</sup> (ROBERTSON, 1998).

### Resultados e Discussão

Os teores de micronutrientes no tecido foliar e os coeficientes de variação (Tabela 1) permitiram classificar os teores de todos os micronutrientes como de média variabilidade (WARRICK; NIELSEN, 1980). Os baixos valores de assimetria e curtose (Tabela 1) e o teste KS demonstraram que os teores foliares dos micronutrientes apresentam distribuição normal dos dados.

**Tabela 1.** Análise estatística descritiva para dos teores de micronutrientes no tecido foliar de videira, na época do florescimento.

Parâmetros Estatísticos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Mínimo	26,92	25	64	12	7
Máximo	90,86	181	393	400	98
Média	66,61	85,29	177	161,6	26,4
Desvio padrão	8,34	32,31	68,36	51	13,6
Coeficiente de variação	12	38	39	31	51
Simetria	-0,4	0,65	0,92	1,53	1,19
Curtose	2,77	0,13	0,64	3,98	4,14
Kolmogorov-Smirnov	0,06	0,1	0,1	0,16	0,1

\*\* variável não segue distribuição normal (P<0,01)

Todas as variáveis apresentaram dependência espacial (Tabela 2), sendo que a avaliação a variância estruturada pelos valores da relação C/(Co+C) indicaram alta correlação espacial para as variáveis, exceto para Zn que apresentou média correlação espacial.

Em relação ao Cu, todas as plantas apresentaram teores considerados acima do normal e por isso, não foi possível o ajuste de semivariograma e o mapeamento utilizando-se a krigagem indicatriz.

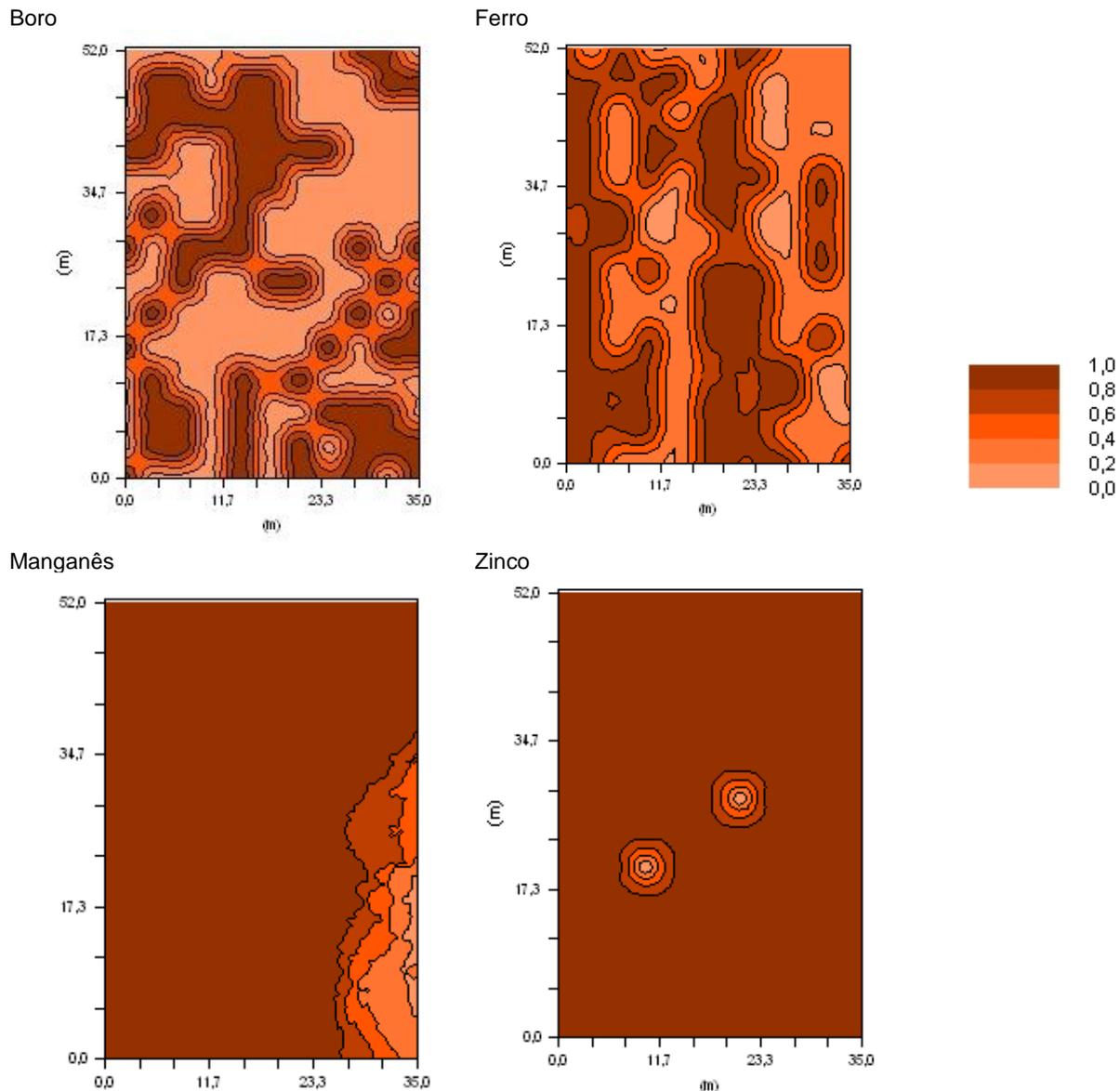
Os valores de alcance apresentaram grande variação (Tabela 2) e correspondem aos raios das áreas consideradas homogêneas para cada variável estudada. O conhecimento dos valores de alcance e as localizações das áreas onde estão concentrados os maiores e menores valores dos teores de nutrientes são importantes para o planejamento do manejo da adubação, tanto na agricultura convencional como na agricultura de precisão (OLIVEIRA et al., 1999). O valor do alcance indica a distância mínima entre amostras que deve ser considerada para garantir a independência entre elas. Assim, no período de coleta de amostras de tecido foliar para monitoramento do estado nutricional das plantas, as mesmas devem ser coletadas com, no mínimo, 60 m de distância entre elas.

**Tabela 2.** Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os teores de micronutrientes no tecido foliar de videira, na época do florescimento.

Variável	Modelo	Efeito pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance (Ao)	[C/(Co+C)]x100	R <sup>2</sup>
B	exponencial	0,0245	0,243	4,77	90	0,81
Fe	esférico	0,0001	0,2382	7,36	100	0,94
Mn	Gaussiano	1040	5190	60	80	0,95
Zn	esférico	65	211,7	23,58	69	0,93

Com base na distribuição espacial dos teores de micronutrientes confeccionaram-se os mapas de probabilidade das plantas apresentarem excesso destes (Figura 1). As áreas mais escuras indicam as áreas de maior probabilidade de se encontrar teores foliares considerados excessivos para a videira.

Como citado anteriormente, o Cu apresentou-se em excesso em todas as plantas amostradas. Isso se deve, principalmente, a um dos principais fungicidas utilizados na região para a cultura, a calda bordalesa, aplicado, geralmente, várias vezes por ciclo de cultivo. Além disso, são aplicados também vários fungicidas cúpricos, além de diversos adubos foliares que contêm este micronutriente. Diversos estudos comprovam a fitotoxidez do Cu na videira, mostrando como ele afeta a integridade das membranas celulares e subcelulares, também o papel dele na cadeia transportadora de elétrons na fotossíntese, diminuição da taxa fotossintética pelo provável colapso dos cloroplastos (BRUNETTO et al., 2007; PANOUI-FILOTHEU et al., 2001; SANTOS et al., 2004; URIBE; STARK, 1982), ou seja, reduz a capacidade fotossintética das plantas.



**Figura 1.** Mapas de probabilidade dos teores de Boro, Ferro, Manganês e Zinco no tecido foliar de videira, na época do florescimento, apresentarem-se em excesso

Da mesma forma, grande parte da área do pomar apresentou probabilidade elevada das plantas apresentarem excesso de Zn. O uso de insumos e agroquímicos que além do Cu possuem o Zn em sua composição, pode levar a contaminação do solo pelos dois elementos (PAOLETTI et al, 1998; RAMOS;

LOPEZ-ACEVEDO, 2004; GAW et al., 2006; RAMOS, 2006) e conseqüentemente sua transferência para as plantas, principalmente em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, características comumente encontradas nos solos do Semiárido.

### Conclusão

O método da krigagem indicatriz pode ser utilizado como ferramenta para mapear a probabilidade de resposta à adubação com micronutrientes pela cultura da videira.

A área do pomar apresentou-se em grande parte com teores foliares excessivos de micronutrientes, principalmente Zn e Cu.

A distância mínima de 60 m entre pontos de coleta de tecido vegetal no pomar de videiras é recomendada para a análise do teor foliar de micronutrientes em laboratório.

### Agradecimentos

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de iniciação científica e ao apoio financeiro, e a Fazenda Alpha Vale, pela disponibilização da área para realização do experimento.

### Referências

- BRUNETTO, G.; MELO, G. W. B.; SCHÄFER JUNIOR, A.; KAMINSKI, J. C.; CERETTA, A. **Taxa fotossintética e acúmulo de matéria seca e nutrientes em videiras jovens na Serra Gaúcha cultivadas em solos com excesso de cobre**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 8 p., 2007. (Comunicado Técnico, 80).
- CAMBARDELLA, C. A.; MOOMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEM, D. L.; TURVO, R. F.; KONOPA, A. E. Field Scale variability of soil properties in Central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 1501-1511, 1994.
- COSTA, W. P. L. B. **Alterações na fertilidade do solo e teores de metais pesados em solos cultivados com videira**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 370 p., 1999.
- GAW, S. K.; WILKINS, A. L.; KIM, N. D.; PALMER, G. T.; ROBINSON, P. Trace element and DDT concentrations in horticultural soils from the Tasman, Waikato and Auckland regions of New Zealand. **Science of the Total Environment**, v. 355, p. 31-47, 2006.
- LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: UNESP/Departamento de Geologia Aplicada, IGCE. 20 p., 2002. (Texto didático, 6).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 319 p., 1997.
- MELO, G. W. B. de. O perigo do excesso de adubação da videira. **Toda Fruta**. Disponível em: <<http://www.todafruta.com.br>>. Acesso em: 13 dez. 2006.
- MELO, G. W. B. **Recomendações de fertilizantes e corretivos para a cultura da videira na Serra Gaúcha (Safrá 2002/2003)**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 5 p., 2003. (Circular Técnica, 40)
- MIHALJEVIC, M.; ETTLR, V.; SEBEK, O.; STRAND, L.; CHRASTNY, L. Lead isotopic signatures of wine and vineyard soils-tracers of lead origin. **J. Geochemical Exploration**, Amsterdam, v. 88, p. 130-133, 2006.
- MOTOMIYA, A. V. A.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T. Uso da krigagem indicativa na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p.485-496, 2006.
- OLIVEIRA, J. J.; CHAVES, L. H. G.; QUEIROZ, J. E.; LUNA, J. G. de. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.783-789, 1999.
- PANOU-FILOTHEOU, H.; BOSABALIDIS, A. M.; KARATAGLIS, S. Effects of copper toxicity on leaves of oregano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*). **Annals of Botany**, London, v. 88, p. 207-214, 2001.
- PAOLETTI, M. G.; SOMMAGIO, D.; FAVRETTO, M. R.; PETRUZZELLI, G.; PEZZAROSSA, B.; BARBAFIERI, M. Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and viyards with different inputs. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 10, p. 137-150, 1998.

- RAMOS, M. C. Metals in vineyard soils of the Penedes area (NE Spain) after compost application. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 78, p. 209-215, 2006.
- RAMOS, M. C.; LOPEZ-ACEVEDO, M. Zinc levels in vineyard soils from the Alt Penedes-Anoia region (NE Spain) after compost application. **Advances in Environmental Research**, New York, v. 8, p. 687-696, 2004.
- ROBERTSON, G.P. **GS+**: Geostatistics for environmental sciences: version 5.1 for windows. [S.1.]: Gamma Design Software, 152 p., 1998.
- SANTOS, H. P.; MELO, G. W.; LUZ, N. B.; TOMASI, R. J. **Comportamento fisiológico de plantas de aveia (Avena strigosa) em solos com excesso de cobre**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 10 p. 2004. (Comunicado Técnico, 49).
- URIBE, E.G.; STARK, B. Inhibition of photosynthetic energy conversion by cupric ion. **Plant Physiology**, Rockville v. 69, p. 1040-1045, 1982.
- VERHAGEN, J.; BOUMA, J. Modeling soil variability. In: PIERCE, J.F.; SADLER, E.J., eds. **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, p.55-68, 1997.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of some physical properties of the soil**. In: Hillel, D. (Ed.) *Applications of soil physics*, New York: Academic Press, 1980. p.319-344.